

# **Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: O caso de Valença**

Rui A. R. Ramos<sup>1, †</sup>, José F. G. Mendes<sup>2</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P – 4800-058 Guimarães, Portugal*

## **RESUMO**

Em todos os processos de localização industrial, quer na perspectiva dos empresários quer na perspectiva do Planeamento Territorial, se admitem diferentes tipos de critérios na tomada de decisão. A localização industrial é essencialmente um processo de decisão através do qual se pretende comparar diferentes alternativas espaciais para a instalação de unidades industriais ou, de um modo mais geral, a identificação das áreas de um território que apresentam maior aptidão para o uso industrial. O objectivo pode ser então a avaliação da aptidão do solo para a localização de áreas industriais, sujeito a um conjunto de critérios, ou seja, está-se na presença dum problema multicritério com objectivo único.

O objectivo geral deste artigo é o da apresentação de um modelo espacial de localização industrial que integra, por um lado, o ponto de vista dos empresários industriais e, por outro lado, o ponto de vista do ordenamento do território, bem como da sua aplicação ao caso do município de Valença. Os critérios admitidos e respectivos pesos resultam da consulta de um painel de empresários da região noroeste de Portugal, tendo-se calibrado funções *fuzzy* que modelam a contribuição de cada critério no processo de decisão. Os critérios foram combinados pelo operador OWA (*Ordered Weighted Average*) no sentido de integrar o risco na análise. Através da aplicação apresentada é possível identificar as potencialidades destes modelo no apoio à decisão no Planeamento Territorial.

## **1. INTRODUÇÃO**

De um modo geral, os processos de decisão pretendem satisfazer um ou múltiplos objectivos, e são desenvolvidos com base na avaliação de um ou vários critérios (Eastman, 1997). No caso particular da localização de actividades ou, por outras palavras, da afectação de usos a parcelas de solo, trata-se essencialmente dum processo de decisão de natureza multicritério, no sentido em que são considerados na avaliação diversos atributos do problema. O processo de decisão poderá consistir na avaliação das áreas com maior aptidão para o uso em estudo, dentro de um determinado espaço geográfico.

---

<sup>1</sup> Professor Auxiliar

<sup>†</sup> Autor para quem a correspondência deverá ser enviada (rui.ramos@eng.uminho.pt)

<sup>2</sup> Professor Associado

Um outro aspecto que tem constituído preocupação por parte de decisores e investigadores é a questão do risco nos processos de avaliação. Num problema multicritério está implícita a avaliação de diferentes aspectos que contribuem (a favor ou contra) para uma decisão. A forma de combinar os critérios, a consideração de todos ou apenas parte deles (os melhores, os piores, os médios, ou qualquer combinação), a forma como uns critérios podem compensar outros, são tudo aspectos que assumem grande importância nas decisões, particularmente em contextos de recursos escassos. Entre as atitudes mais extremas de risco na avaliação - pessimistas (conservadoras) e optimistas (arriscadas) - pode haver lugar a cenários de avaliação que sejam mais compatíveis com as condições que contextualizam a decisão.

O modelo de localização industrial apresentado, desenvolvido por Ramos (2000), resulta da fusão de três grandes eixos teóricos, a saber:

- Os modelos teóricos de Localização Industrial e os estudos específicos realizados nacional e internacionalmente, designadamente os exercícios de identificação de critérios;
- A Análise Multicritério como ferramenta de avaliação de alternativas, particularmente interessante quando se exploram diversas hipóteses de combinação de critérios no sentido do desenvolvimento de cenários de avaliação;
- Os Sistemas de Informação Geográfica como ambiente de desenvolvimento de modelos de natureza espacial (também designados por modelos cartográficos), possuidores de potentes ferramentas de análise e processamento espacial.

Os fundamentos conceptuais que suportam o modelo são os seguintes:

- A aptidão do território para o uso industrial pode ser avaliada através de critérios ou grupos de critérios que estão associados a diferentes pontos de vista: o dos empresários e o do ordenamento do território;
- Os critérios podem ser organizados por grupos e por níveis de análise, e combinados através da atribuição de diferentes graus de importância (pesos);
- Os critérios podem ser normalizados através da aplicação de funções *fuzzy*;
- Na combinação de critérios podem ser desenvolvidos cenários de avaliação com base em diferentes opções de *trade-off* e de risco.

## 2. AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO

Começando pela definição básica, Decisão é a escolha entre alternativas. As alternativas podem representar diferentes localizações, diferentes planos, diferentes classificações, diferentes hipóteses sobre um fenómeno, etc. Por exemplo, a escolha entre três classificações de aptidão (Alta, Média, Má) para um determinado uso do solo relativamente a uma determinada parcela de terreno é um acto que se designa por Decisão.

A decisão é suportada pela consideração de Critérios, que representam condições possíveis de quantificar ou avaliar e que contribuem para a tomada de decisão. Os critérios podem ser de dois tipos: Exclusões ou Factores.

Uma Exclusão é um critério que limita as alternativas em consideração na análise. Um bom exemplo de uma exclusão é a considerar “não aptas” as áreas ambientalmente protegidas, quando se estuda a aptidão dos solos para uso industrial. Na maioria dos casos, uma exclusão traduz-se na criação de limitações ao espaço de análise, definindo as alternativas não elegíveis que deverão ser excluídas do espaço inicial de soluções possíveis.

Um Factor é um critério que acentua ou diminui a aptidão de uma determinada alternativa para o objectivo em causa. Normalmente esta aptidão é medida numa escala contínua e de forma a abranger todo o espaço de solução inicialmente previsto.

A Regra de Decisão é o procedimento através do qual os critérios são combinados para chegar a uma determinada avaliação, incluindo a própria comparação entre avaliações no sentido de produzir decisões. Tipicamente, as regras de decisão incluem procedimentos para normalizar e combinar diferentes critérios, resultando um índice composto e uma regra que rege a comparação entre alternativas utilizando este índice.

Os aspectos críticos num processo de decisão que envolve múltiplos critérios são: a avaliação de pesos para os critérios; a normalização dos critérios; e a combinação de critérios. Para uma melhor compreensão destes aspectos, incluindo uma descrição detalhada dos métodos possíveis, ver Mendes (2000) e Ramos (2000).

## 2.1 Avaliação de pesos para os critérios

Uma das grandes dificuldades muitas vezes encontradas num processo de decisão que envolve múltiplos critérios é a forma como se deve quantificar a importância relativa de cada um deles, ao que acresce o facto dos mesmos possuírem graus de importância variáveis para diferentes decisores. Portanto, é necessário definir qual a importância relativa de cada critério no processo de decisão, o que é feito normalmente atribuindo um determinado peso a cada critério interveniente. A correcta atribuição de pesos é importante para que sejam mantidas as preferências dos decisores.

Embora não se possa afirmar que exista um método consensual para a definição de pesos, podem encontrar-se na literatura várias propostas de procedimentos para este efeito (Voogd, 1983; von Winterfeldt e Eduards, 1986; Malczewski, 1999). Alguns desses métodos são apresentados em Ramos (2000), tais como: métodos baseados no ordenamento de critérios; métodos baseados em escalas de pontos; métodos baseados em distribuição de pontos; método baseado na comparação de critérios par-a-par.

## 2.2 Normalização dos critérios

Normalmente os valores de diferentes critérios não são comparáveis entre si, o que inviabiliza a sua agregação imediata. Para resolver este problema é necessário normalizar para a mesma escala de valores a avaliação dos critérios.

A maior parte dos processos de normalização utilizam os valores máximo e mínimo para a definição duma escala. A forma mais simples é uma variação linear definida da seguinte forma (Eastman *et al.*, 1997):

$$x_i = (R_i - R_{\min}) / (R_{\max} - R_{\min}) * \text{Intervalo\_normalizado} \quad (1)$$

em que  $R_i$  é o valor de score a normalizar e  $R_{\min}$  e  $R_{\max}$  são os scores mínimo e máximo, respectivamente.

Uma outra forma de normalização é o chamado z-score, bastante conveniente quando se está na presença de scores em número suficiente para permitir o cálculo de médias e desvios padrões com algum significado (Bossard, 1999).

O valor do z-score é dado por (Mendes *et al.*, 1999):

$$Zscore = a \frac{R - \mu[R]}{\sigma[R]} \quad (2)$$

onde  $R$  é o valor do score a normalizar,  $\mu[R]$  é a média dos scores das diferentes alternativas em consideração e  $\sigma[R]$  é o respectivo desvio padrão. A variável  $a$  assume o valor +1 quando maiores valores do score do critério contribuem positivamente para o objectivo em causa, e o valor -1 quando maiores valores do score contribuem negativamente para o objectivo.

O processo de normalização é na sua essência idêntico ao processo de *fuzzification* introduzido pela lógica *fuzzy*, segundo o qual um conjunto de valores expressos numa dada

escala é convertido num outro comparável, expresso numa escala normalizada (por exemplo 0-1). O resultado expressa um grau relativamente à pertença a um conjunto (designado por *fuzzy membership* ou possibilidade) que varia de 0.0 a 1.0, indicando um crescimento contínuo desde não-pertença até pertença total, na base do critério submetido ao processo de *fuzzification*. *Fuzzification* é a expressão original apresentada por Zadeh (1965), para a qual não se adoptou qualquer tradução. O mesmo acontece para a palavra *fuzzy*.

Para a normalização dos critérios, várias são as funções que podem ser utilizadas para reger a variação entre o ponto mínimo, a partir do qual os valores de score do critério começam a contribuir para a decisão, e o valor máximo, a partir do qual scores mais elevados não trazem contribuição adicional para a decisão. Algumas das mais utilizadas destas funções, designadas por funções *fuzzy* ou, mais genericamente e na terminologia anglo-saxónica, *fuzzy set membership functions*, são: Sigmoidal, J-Shaped, Linear e Complexa (Zadeh, 1965; Eastman, 1997; Mendes, 2000; Ramos, 2000).

## 2.3 Combinação de critérios

Uma vez normalizados os scores dos critérios para um intervalo fixado (0 a 1, ou outro qualquer) estes já podem ser agregados de acordo com a regra de decisão. Existem diversas classes de operadores para a combinação de critérios (para uma descrição extensiva ver Malczewski, 1999). Nas secções seguintes apresentam-se dois procedimentos que, no âmbito dos processos de decisão de natureza espacial, são mais relevantes: a Combinação Linear Pesada (WLC - Weighted Linear Combination) e a Média Pesada Ordenada (OWA - Ordered Weighted Average).

### 2.3.1 Combinação Linear Pesada - WLC

O procedimento WLC (Voogd, 1983) combina os factores através duma média pesada, dada pela equação:

$$S = \sum_i w_i x_i \quad (3)$$

em que  $S$  é o valor final do score,  $w_i$  é o peso do factor  $i$  e  $x_i$  é o valor normalizado para o mesmo factor. Dado que o somatório dos pesos é a unidade, o score final vem calculado na mesma escala dos scores normalizados dos factores.

Nos casos em que, para além dos factores (que se expressam em escalas de score contínuas), se aplicam também exclusões (que se expressam em escala binária 0/1), o procedimento pode ser alterado multiplicando o score calculado com base nos factores pelo produto das exclusões:

$$S = \sum_i w_i x_i \times \prod_j c_j \quad (4)$$

onde  $c_j$  é o score (0/1) da exclusão  $j$ .

A mais importante característica do procedimento WLC é o facto de permitir a compensação entre critérios (*trade-off*), o que significa que uma qualidade (score a respeito dum critério) muito pobre numa dada alternativa pode ser compensada por um conjunto de boas qualidades (scores mais altos a respeito de outros critérios).

### 2.3.2 Média Pesada Ordenada - OWA

Yager (1988) introduziu uma nova perspectiva de análise através de um novo procedimento de agregação de factores. Esta técnica, para além de utilizar os pesos de critérios usados no procedimento WLC, considera outro conjunto de pesos que não estão

especificamente ligados a quaisquer factores, mas que lhes são aplicados por uma ordem que depende do valor dos factores após a aplicação normal do primeiro conjunto de pesos.

Este procedimento denomina-se OWA e estes novos pesos denominam-se *order weights*, visto a sua aplicação depender de uma determinada ordenação dos factores que agregam (Yager, 1988, Eastman *et al.*, 1996, 1998).

Depois da aplicação do primeiro conjunto de pesos aos factores (tal como no procedimento WLC), os scores resultantes (agora pesados) são ordenados do valor mais baixo para o mais elevado. Ao factor com o score pesado mais baixo (o primeiro da lista ordenada) é aplicado o primeiro *order weight*, ao factor com o segundo valor mais baixo é aplicado o segundo *order weight*, e assim sucessivamente. Trata-se portanto de pesar os factores com base na sua ordem, do mínimo para o máximo.

Fazendo variar os *order weights*, o procedimento OWA permite implementar uma gama vastíssima (na verdade infinita) de opções de agregação. Como referem Eastman *et al.* (1998), num processo de decisão que envolva três factores, um conjunto de *order weights* [1 0 0] aplicaria todo o peso ao factor com o menor score, produzindo assim uma solução adversa ao risco (dita pessimista ou conservadora), equivalente ao operador lógico AND; um conjunto de *order weights* [0 0 1], pelo contrário, aplicaria todo o peso ao factor de mais alto score, produzindo assim uma solução de elevado risco (dita optimista), equivalente ao operador lógico OR; um conjunto de *order weights* [0.33 0.33 0.33], por sua vez, aplicaria igual peso a todos os factores, produzindo assim uma solução de risco neutro (intermédia), equivalente ao operador WLC. Nos dois primeiros casos apenas os scores extremos são considerados (o mínimo no primeiro e o máximo no segundo), o que significa que os factores não podem ser compensados uns pelos outros (ausência de *trade-off*). Contudo, no terceiro caso, como foi atribuído um conjunto de *order weights* perfeitamente equilibrado, os factores podem compensar-se mutuamente (*trade-off* total), no sentido em que maus scores nuns factores podem ser compensados por bons scores noutros factores. Na realidade este terceiro caso é um equivalente do WLC ou, ainda mais correctamente, o procedimento WLC é um caso particular do procedimento mais geral OWA.

Os *order weights* não estão obviamente restringidos aos três casos apresentados no parágrafo anterior; na verdade, qualquer combinação é possível desde que o seu somatório seja a unidade. A deslocação relativa dos *order weights* no sentido do mínimo ou do máximo controla o nível de risco (também designado por ANDness); por sua vez, a homogeneidade de distribuição dos *order weights* pelas posições controla o nível global de *trade-off*.

O resultado é um espectro estratégico de decisão, aproximadamente triangular, definido por um lado pela atitude de risco e, por outro lado, pelo nível de *trade-off* (Eastman *et al.*, 1998), como se observa na Figura 1.

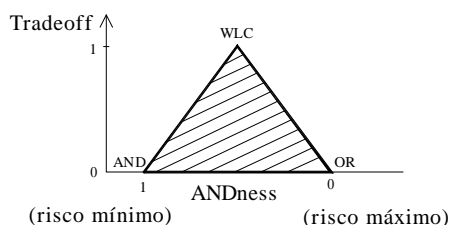


Fig. 1 - Espaço estratégico de decisão (OWA)

A atitude de risco é medida pela variável *ANDness*, dada pela equação (Eastman *et al.*, 1998):

$$ANDness = \frac{1}{n-1} \sum_i ((n-i)O_i) \quad (5)$$

e o *trade-off* é dado por:

$$Tradeoff = 1 - \sqrt{\frac{n \sum_i (O_i - 1/n)^2}{n-1}} \quad (6)$$

onde  $n$  é o número total de factores,  $i$  é a ordem do factor e  $O_i$  é o peso (*order weight*) para o factor de ordem  $i$ .

## 2.4 Selecção de técnicas associadas à avaliação multicritério

A selecção das técnicas a utilizar depende, desde logo, da sua adequação à situação particular em análise, mas também dos dados e recursos disponíveis.

No que se refere à avaliação de pesos, sempre que estiver em causa expressar aquelas que são as prioridades dum grupo de decisores, deverá ser utilizado o Método de Comparações Par-a-Par. Embora seja um método mais complexo e demorado, que por vezes impõe a iteração para garantir um grau de consistência aceitável, os resultados e o próprio procedimento adequam-se perfeitamente ao problema da localização industrial, isto é, quando se pretende uma avaliação da importância relativa dos critérios de localização considerados pelos empresários.

Para a pesagem de outros critérios, e nomeadamente quando se pretende construir cenários de avaliação, podem utilizar-se outros métodos mais simples; tipicamente atribuem-se directamente pesos decimais, o que corresponde a utilizar um método baseado na distribuição de pontos.

No que se refere à normalização de critérios, o procedimento mais adequado para variáveis contínuas (distâncias, por exemplo), é o da *fuzzification*, isto é, a aplicação duma função *fuzzy*, a qual deverá ser escolhida e calibrada criteriosamente. Para variáveis com valores numéricos discretos, pode optar-se por calcular previamente um Z-score para cada localização alternativa e só depois aplicar a função *fuzzy*, o que dá alguma contextualidade ao processo, dado que os Z-scores são referidos à média dos valores em análise.

Nos casos em que se está em presença de critérios envolvendo escalas nominais (uso do solo, por exemplo) deverão ser atribuídos arbitrariamente os scores normalizados, de acordo com a escala normalizada adoptada.

Finalmente, no que se refere à combinação de critérios, podem ser utilizados os procedimentos de agregação WLC (combinação linear pesada) ou OWA (média pesada ordenada), ou ainda uma combinação de ambos ao longo da estrutura hierárquica de decisão. Interessa recorrer ao procedimento OWA sobretudo quando se pretendem explorar cenários de risco e variação de *trade-off*.

## 3. IMPLEMENTAÇÃO DA AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO EM AMBIENTE SIG

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são programas destinados à aquisição, gestão, análise e apresentação de informação georeferenciada. Utilizando a informação organizada em diferentes níveis temáticos (por exemplo, rede de estradas principais, declive do terreno, ocupação do solo, etc.) é possível fazer várias operações de análise lógica, estatística e matemática apresentando os resultados numa carta ou numa tabela. Este tipos de ferramenta revolucionou a monitorização e gestão dos recursos naturais e uso do solo, não sendo portanto surpreendente o interesse crescente no desenvolvimento de abordagens de suporte à decisão baseadas em SIG (Eastman *et al.*, 1993, 1994; Eastman *et al.*, 1998; Carver, 1991; Janssen and Rietveld, 1990; Honea *et al.*, 1991).

A avaliação multicritério pode ser implementada num SIG através de um de dois procedimentos. O primeiro envolve a sobreposição booleana, na qual todos os critérios são

reduzidos a declarações lógicas de aptidão (isto é, classificados de forma binária: 0/1) e então combinados por via de operadores lógicos como a intersecção (AND) e a união (OR). O segundo envolve a combinação de critérios contínuos (factores), através da normalização para uma escala comum e da aplicação de pesos para obter médias pesadas. Por razões que remontam à facilidade com que estas abordagens podem ser implementadas, a sobreposição booleana tem dominado as aplicações em SIG vectoriais, enquanto a combinação de critérios contínuos domina as aplicações em SIG *raster*.

No modelo desenvolvido optou-se por um SIG *raster*, no qual as Exclusões são processadas através de operações booleanas enquanto os Factores são processados por operadores matemáticos, recorrendo à álgebra de mapas.

A implementação do modelo corresponde, num SIG *raster*, ao processamento de cada pixel numa imagem *raster* representativa do território em estudo, permitindo obter mapas contínuos de aptidão para a localização industrial, quer global (final) quer por níveis de análise (ou seja, por grupos de factores). Por outras palavras, cada pixel é potencialmente uma alternativa para a localização da actividade industrial, pelo que, em função das características da parcela de solo que representa, é submetido a uma avaliação multicritério que determina a sua aptidão.

#### 4. ESTRUTURA DO MODELO DE AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO

O modelo de avaliação é estruturado por níveis hierárquicos de análise, podendo definir-se dentro de cada um grupos de critérios. Estes grupos de critérios são processados de acordo com uma sequência que envolve a sua normalização, a aplicação dos pesos respectivos e a sua combinação. Esta sequência, a implementar num ambiente SIG para cada grupo de critérios e nível de análise, é apresentada na Figura 2, onde se indicam também as técnicas de Avaliação Multicritério aplicáveis.

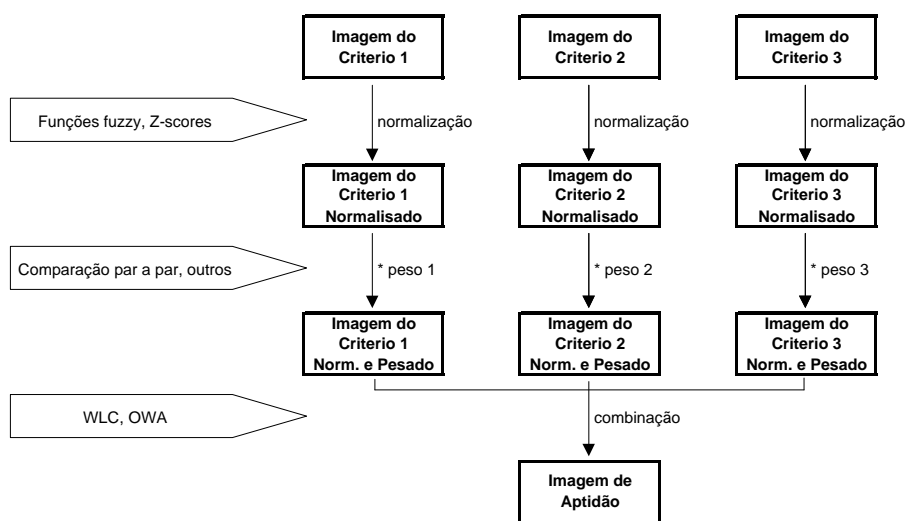


Fig. 2 - Estrutura de análise por nível e grupo de critérios

## 5. CASO DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO INDUSTRIAL NO MUNICÍPIO DE VALENÇA

### 5.1 Introdução

O Município de Valença localiza-se na região do Minho, no Noroeste de Portugal (Figura 3) sendo limitado a Norte e Oeste pelo rio Minho, que o separa de Espanha, também a Oeste pelo concelho de Vila Nova de Cerveira, a Sul pelo concelho de Paredes de Coura e a Este pelo concelho de Monção. A sede do concelho situa-se na sua parte Noroeste, como se pode observar na Figura 3.

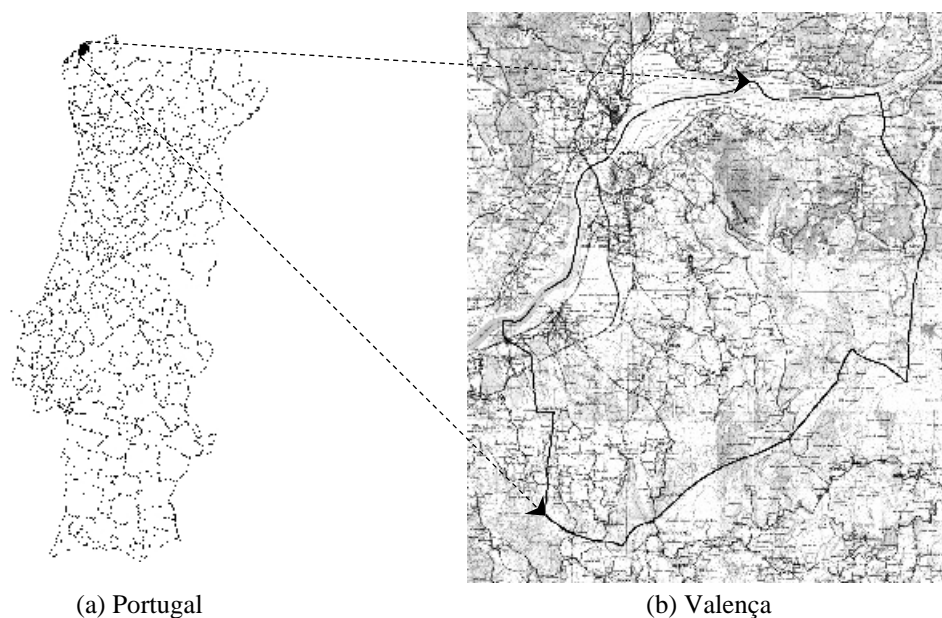


Fig. 3 - Localização do Município de Valença

Administrativamente, Valença integra-se no Distrito de Viana do Castelo. Geograficamente, integra-se nas NUT II Norte e NUT III Minho-Lima, e possui uma área de 117 Km<sup>2</sup>. Valença é um dos poucos municípios portugueses que, não sendo litoral nem contendo um grande centro urbano, vem assistindo a algum acréscimo populacional nas duas últimas décadas. Com efeito, a população de 14000 residentes recenseada em 1981 cresceu para 14815 em 1991 e as projecções apontam para 15491 no ano 2000. O objectivo deste Caso de Estudo é a avaliação do solo da área do município de Valença relativamente à sua aptidão para a localização de novas áreas industriais, tendo em linha de conta a realidade local. O espaço estratégico de decisão resultante é comentado e discutido.

### 5.2 Critérios e Pesos

Com o objectivo de traduzir para o modelo de localização o ponto de vista dos empresários, designadamente no que concerne aos critérios que consideram relevantes na localização de novas indústrias, foi realizado um inquérito a um painel seleccionado de 25 empresários da indústria transformadora, sediados nos concelhos de Braga, Vila Nova de Famalicão e Santo Tirso, e cuja actividade industrial, instalações e investimentos se expressam prevalentemente no Noroeste de Portugal.

A opção por um painel de empresários, numa base de diálogo (entrevista) directo, em desfavor duma amostra de maior dimensão, baseada num inquérito postal, é absolutamente crítica, já que os resultados são indubitavelmente mais fiéis ao processo de decisão dos empresários, eliminando-se interpretações deficientes e privilegiando-se a iteração. As



vantagens deste tipo de abordagem são discutidas por Witlox e Timmermans (1999), os quais fizeram opção idêntica no contexto do desenvolvimento dum sistema pericial para a avaliação e selecção de locais para a instalação de indústrias.

O contacto com os empresários desenvolveu-se individualmente, durante o ano de 1998, e em diversas fases, a saber:

- Com base em revisão bibliográfica, foi produzida uma lista extensa de critérios de localização, que serviu de base de trabalho para, conjuntamente com os empresários, se chegar a uma lista mais reduzida dos critérios efectivamente relevantes. Definiram-se igualmente os agrupamentos de critérios a adoptar. Esteve sempre presente um clima de pragmatismo, aliás muito próprio dos processos de decisão de empresários do sector industrial, no sentido em que os critérios considerados deveriam ser possíveis de avaliar, quer do ponto de vista da disponibilidade de dados, quer do ponto de vista do esforço de aquisição dos mesmos.
- Para os critérios de cada grupo, bem como para os grupos de critérios entre si, foram desenvolvidas matrizes de comparação par-a-par, utilizando a escala de nove níveis de Saaty (1977), as quais serviram de base para o cálculo dos pesos dos critérios.
- Relativamente aos critérios contínuos (distâncias), foi colocada aos empresários a possibilidade de escolherem entre uma de duas funções *fuzzy* de normalização (linear e sigmoidal), bem como de identificarem os pontos de controlo necessários à calibração das curvas *fuzzy*, isto é, quantificarem as distâncias correspondentes aos limites mínimo e máximo de relevância do critério.

### 5.2.1 Factores

Apresentam-se nos Quadros 1 a 3 os factores considerados, incluindo o respectivo código, descrição, peso e distância máxima para efeitos de definição da curva *fuzzy*.

O código indicado nos quadros é também utilizado como nome da imagem *raster* representativa do respectivo factor.

Esta estrutura de factores pode ser organizada por níveis de análise (Quadro 4), o que facilita a sua análise posterior.

Quadro 1 - Factores associados à actividade industrial

Código	Descrição	d <sub>max</sub> (km)	Pesos
<b>A</b>	<b>Factores associados à actividade industrial</b>		
A1	Acessibilidade		0.2860
A11	Proximidade a nós de autoestrada	27.36	0.2266
A12	Proximidade a estradas da rede principal	3.49	0.3739
A13	Proximidade a terminal rodoviário de carga	10.40	0.1623
A14	Proximidade a terminal ferroviário de carga	20.08	0.1199
A15	Proximidade a porto marítimo	51.91	0.0773
A16	Proximidade a aeroporto com terminal de carga	69.90	0.0400
A2	Mão-de-obra		0.2939
A21	População activa residente na freguesia	-	0.1155
A22	População desempregada residente na freguesia	-	0.6017
A23	População empregada no sector secundário res. na freguesia	-	0.2828
A3	Inércia industrial		0.0585
A31	Proximidade a aglomerados industriais	3.21	0.5000
A32	Densidade industrial (emprego sect. secund/freg.)	-	0.5000
A4	Infraestruturas básicas		0.1318
A41	Proximidade a rede de abastecimento de água	0.29	0.1153
A42	Proximidade a rede de drenagem de águas residuais	0.30	0.0834
A43	Proximidade a rede de distribuição electricidade	0.53	0.4463
A44	Proximidade a rede de comunicações	0.46	0.3126
A45	Proximidade a ponto de recolha de resíduos sólidos	0.66	0.0424

A5	Equipamentos terciários			0.2298
A51	Proximidade a um CBD	16.53	0.2269	
A52	Proximidade a um centro coordenador Transp./rodo/ferroviário	8.09	0.4857	
A53	Proximidade a corporação de bombeiros	5.95	0.1407	
A54	Proximidade a serviço de saúde com urgência/emergência	7.51	0.1097	
A55	Proximidade a laboratório de cálculo/medida/controlo	31.17	0.0370	

Quadro 2 - Factores associados a opções administrativas e sócio-económicas

Código	Descrição	d <sub>max</sub> (km)	Pesos
<b>B</b>	<b>Factores associados a opções administrativas e sócio-económicas</b>		
B1	Preferências pessoais		0.2486
B11	Proximidade a áreas urbanas com particular qualidade de vida	18.60	0.7087
B12	Proximidade a áreas com infraestruturas de recreio e lazer	44.40	0.2913
B2	Proximidade a centros de investigação e ensino superior		0.3517
B21	Proximidade a universidade com ramo tecnológico	45.60	0.7124
B22	Proximidade a Instituto Politécnico com ramo tecnológico	44.40	0.2876
B3	Proximidade a centros de decisão		0.3997
B31	Proximidade a centros de decisão a nível municipal	33.60	0.5214
B32	Proximidade a centros de decisão a nível central	217.60	0.4786

Quadro 3 - Factores associados ao ordenamento de território

Código	Descrição	Pesos
<b>C</b>	<b>Factores associados ao ordenamento do território</b>	
C1	Uso preferencial do solo, de acordo com PDM	0.3333
C2	Protecção ambiental - visibilidade a partir de áreas urbanas	0.3333
C3	Condições de implantação das instalações industriais - declive do terreno	0.3333

Quadro 4 - Factores por níveis

1º nível	A					B			C		
2º nível	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	C1	C2	C3
3º nível	A11	A21	A31	A41	A51	B11	B21	B31			
	A12	A22	A32	A42	A52	B12	B22	B32			
	A13	A23		A43	A53						
	A14			A44	A54						
	A15			A45	A55						
	A16										

### 5.2.2 Exclusões

As exclusões são um tipo de critério que, como foi já dito, restringem o espaço de solução do problema, através da exclusão de áreas de acordo com determinadas condições.

As exclusões consideradas são critérios associados ao ordenamento do território (Quadro 5).

Quadro 5 - Exclusões associadas ao ordenamento do território

Código	Descrição
<b>CE</b>	<b>Exclusões associadas ao ordenamento do território</b>
CE1	Uso do solo.
CE11	Exclusão de zonas classificadas em sede de PDM nas seguintes classes de uso: Áreas urbanas (existentes); Áreas urbanizáveis preferenciais; Áreas de equipamentos colectivos (existentes e planeadas); Áreas de verde urbano; Áreas industriais (existentes); Áreas de indústrias extractivas (existentes e planeadas); Áreas agrícolas e agro-industriais integradas na RAN; Áreas florestais e agro-florestais de uso condicionado; Áreas de uso cultural; Áreas de uso natural; Área do Aeródromo de Cerval.

CE12	Exclusão de <i>buffer</i> de protecção de 100 metros de largura em torno das seguintes áreas: Áreas urbanas (existentes); Áreas de equipamentos colectivos (existentes e planeados); Áreas de uso cultural; Áreas de uso natural.
CE2	Protecção ambiental.
CE21	Reserva ecológica nacional (REN).
CE22	Áreas únicas e ecossistemas classificados, não incluídos na REN.
CE23	Áreas de protecção ( <i>buffer</i> de 50 metros de cada lado) dos leitos das linhas de água principais.
CE3	Servidões administrativas e restrições de utilidade pública.
CE31	<i>Buffer</i> de protecção à autoestrada (50m de cada lado do eixo).
CE32	<i>Buffer</i> de protecção às estradas principais (VS - 50m de cada lado do eixo; IC1 - 35m de cada lado do eixo; EN101, EN201 e VCP - 20m de cada lado do eixo; EME - 8m de cada lado do eixo).
CE33	<i>Buffer</i> de protecção às ferrovias (3m de cada lado do eixo).
VS - Variante à sede do concelho; IC1 - Itinerário complementar 1, do Plano Rodoviário Nacional, antiga Estrada Nacional 13; EN101 - Estrada Nacional 101; EN201 - Estrada Nacional 201; VCP - Via de circulação periférica, à sede do concelho; EME - Estrada municipal estruturante	

### 5.3 Fluxograma de Análise

A aplicação do modelo de localização industrial ao caso de estudo foi feita com recurso a um sistema de informação geográfica designado por IDRISI. Este SIG é basicamente um sistema *raster*, que tem um conjunto de ferramentas de análise espacial, incluindo uma vasta gama de operadores de álgebra de mapas (Eastman, 1997).

No fluxograma que se apresenta na Figura 4 os operadores e as imagens são identificados pelo seu nome tal como é feito pelo *software* IDRISI. Neste fluxograma é seguida a estrutura hierárquica de análise apresentada no Quadro 4, que é uma referência sempre presente e importante na compreensão das fases de análise desenvolvidas ao longo de todo o caso de estudo.

### 5.4 Cenários de Avaliação

#### 5.4.1 Introdução

A quantidade de opções possíveis na definição de cenários de avaliação é teoricamente infinita, considerando diferentes combinações de pesos (de critérios ou *order weights*), e diferentes combinações do uso de OWA e WLC nos diferentes níveis de critérios. Neste quadro, optou-se por um conjunto de cenários com significado do ponto de vista do seu interesse prático, no contexto da realidade municipal de Valença.

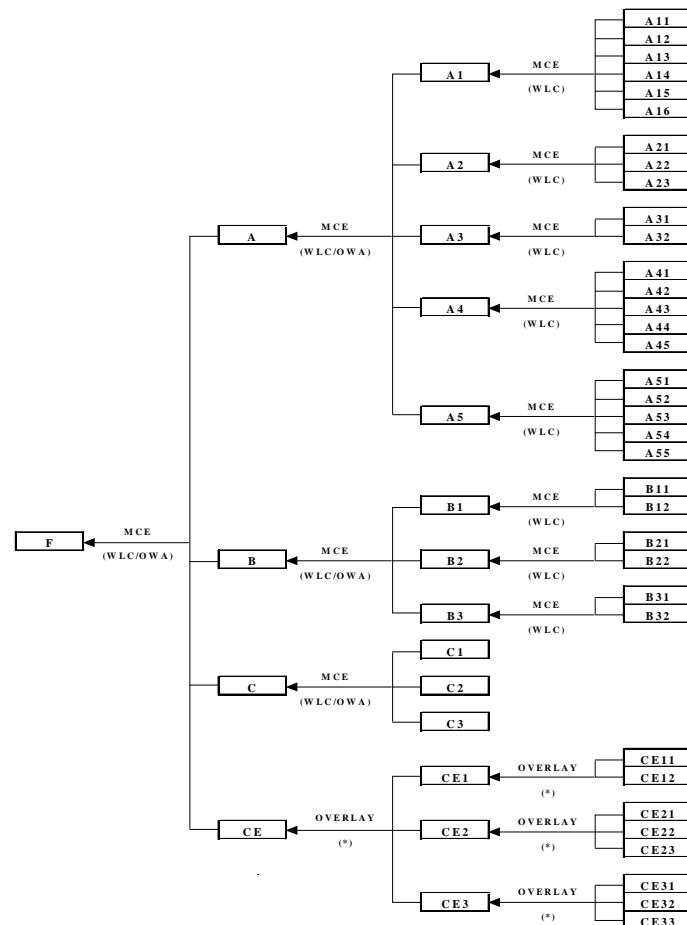
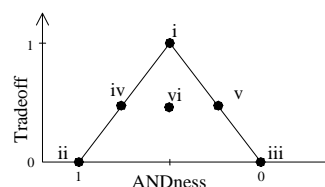


Fig. 4 – Fluxograma de combinação de factores e exclusões

Assim, consideram-se as seguintes linhas de orientação de acordo com o nível dos critérios (ver Quadro 4):

- 3º nível: Combinação dos factores através do procedimento WLC, considerando os pesos respectivos.
- 2º nível: Combinação das imagens resultantes da agregação do 3º nível através do procedimento OWA, para cada um dos grandes grupos de critérios: associados à actividade industrial (A); associados a opções administrativas e sócio-económicas (B); e associados ao ordenamento do território (C). São simulados seis cenários para cada grupo de critérios, correspondendo a diferentes níveis de risco e *trade-off* (ditos pontos de decisão), de acordo com a Figura 5.



Cenários:

- i: risco neutro, máximo *trade-off*;
- ii: risco mínimo (pessimista), sem *trade-off*;
- iii: risco máximo (optimista), sem *trade-off*;
- iv: baixo risco, *trade-off* parcial;
- v: alto risco, *trade-off* parcial;
- vi: risco neutro, *trade-off* parcial.

Fig. 5 - Pontos de decisão

- 1º nível: Combinação dos resultados da agregação do 2º nível, através do procedimento WLC, usando dois conjuntos de pesos e duas combinações de cenários do 2º nível, num total de 4 cenários finais.

#### 5.4.2 Combinação de critérios do 3º nível (WLC)

A combinação das imagens correspondentes ao 3º nível dá origem às imagens A1, A2, A3, A4, A5, B1, B2 e B3 (ver Quadro 4 e Figura 4).

Apresentam-se na Figura 6 as 11 imagens correspondentes ao 2º nível, isto é, as imagens resultantes da agregação do 3º nível e ainda as imagens C1, C2 e C3.

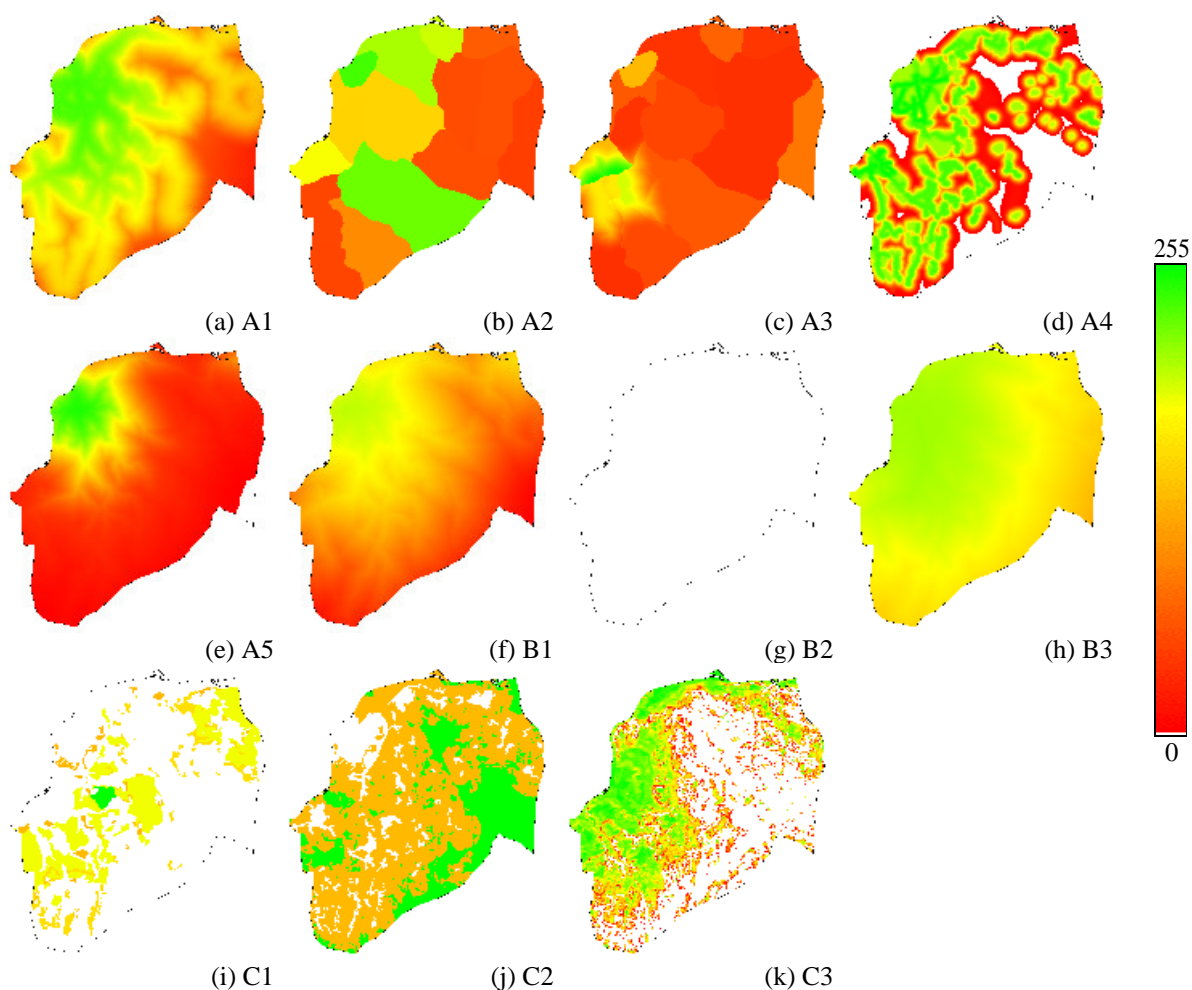


Fig. 6 - Imagens do 2º nível

#### 5.4.3 Combinação de critérios do 2º nível (OWA)

A combinação das imagens correspondentes ao 2º nível dá origem às imagens A, B e C. Para cada grupo (A, B, C) foram simulados seis cenários (i, ii,...,vi), através do procedimento OWA, cujas características se apresentam nos Quadros 6, 7 e 8.

Quadro 6 - Cenários de avaliação: 2º nível, grupo de factores A

Cenário	Order weights		ANDness	Tradeoff	Tipo de avaliação
Ai	[0.20 0.20 0.20 0.20 0.20]		0.50	1.00	Risco neutro Máximo <i>trade-off</i>
Aii	[1.00 0.00 0.00 0.00 0.00]		1.00	0.00	Risco mínimo (pessimista) Sem <i>trade-off</i>
Aiii	[0.00 0.00 0.00 0.00 1.00]		0.00	0.00	Risco máximo (optimista) Sem <i>trade-off</i>
Aiv	[0.55 0.25 0.10 0.05 0.05]		0.80	0.53	Baixo risco <i>trade-off</i> parcial
Av	[0.05 0.05 0.10 0.25 0.55]		0.20	0.53	Alto risco <i>trade-off</i> parcial
Avi	[0.05 0.15 0.60 0.15 0.05]		0.50	0.49	Risco neutro <i>trade-off</i> parcial

Quadro 7 - Cenários de avaliação: 2º nível, grupo de factores B

Cenário	Order weights		ANDness	Tradeoff	Tipo de avaliação
Bi	[ 0.33 0.33 0.33 ]		0.50	1.00	Risco neutro Máximo <i>trade-off</i>
Bii	[ 1.00 0.00 0.00 ]		1.00	0.00	Risco mínimo (pessimista) Sem <i>trade-off</i>
Biii	[ 0.00 0.00 1.00 ]		0.00	0.00	Risco máximo (optimista) Sem <i>trade-off</i>
Biv	[ 0.65 0.30 0.05 ]		0.80	0.48	Baixo risco <i>trade-off</i> parcial
Bv	[ 0.05 0.30 0.65 ]		0.20	0.48	Alto risco <i>trade-off</i> parcial
Bvi	[ 0.15 0.70 0.15 ]		0.50	0.45	Risco neutro <i>trade-off</i> parcial

Quadro 8 - Cenários de avaliação: 2º nível, grupo de factores C

Cenário	Order weights		ANDness	Tradeoff	Tipo de avaliação
Ci	[ 0.33 0.33 0.33 ]		0.50	1.00	Risco neutro Máximo <i>trade-off</i>
Cii	[ 1.00 0.00 0.00 ]		1.00	0.00	Risco mínimo (pessimista) Sem <i>trade-off</i>
Ciii	[ 0.00 0.00 1.00 ]		0.00	0.00	Risco máximo (optimista) Sem <i>trade-off</i>
Civ	[ 0.65 0.30 0.05 ]		0.80	0.48	Baixo risco <i>trade-off</i> parcial
Cv	[ 0.05 0.30 0.65 ]		0.20	0.48	Alto risco <i>trade-off</i> parcial
Cvi	[ 0.15 0.70 0.15 ]		0.50	0.45	Risco neutro <i>trade-off</i> parcial

As imagens resultantes dos dezoito cenários simulados são apresentadas na Figura 7.

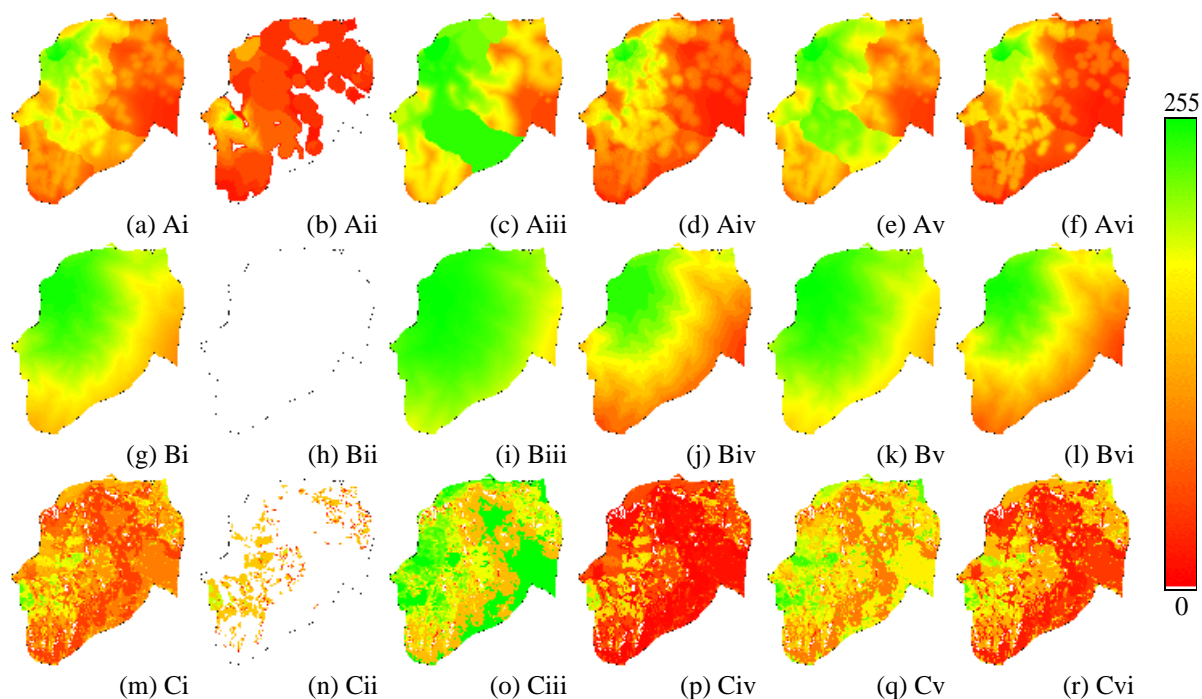


Fig. 7 - Imagens dos cenários dos grupos de factores A, B e C

#### 5.4.4. Combinação de critérios do 1º nível (WLC)

A combinação das imagens, neste caso os vários cenários, correspondentes ao 1º nível (Ai,..., Avi; Bi,..., Bvi; Ci,..., Cvi), e admitindo as exclusões (CE), dá origem à imagem final. Também a este nível se desenvolvem alguns cenários de avaliação, mas utilizando sempre o procedimento WLC. Convém clarificar que a utilização do procedimento WLC pressupõe que as imagens a combinar contenham scores expressos na mesma escala; assim, antes da geração dos cenários finais, procedeu-se à normalização dos cenários combinados para a escala 0-255. Optou-se por dois conjuntos de pesos: um primeiro que corresponde a igual importância dos três grandes grupos de critérios A, B, e C (pesos todos idênticos e iguais a 0.33, 0.33 e 0.33, respectivamente); um segundo conjunto que atribui mais importância aos critérios associados à actividade industrial (grupo A, peso 0.50), um pouco menos importância aos critérios associados a opções administrativas e sócio-económicas (grupo B, peso 0.35), e menos importância aos critérios associados ao ordenamento do território (grupo C, peso 0.15).

Para cada um destes dois conjuntos de pesos foram combinados dois conjuntos de cenários resultantes da agregação do 2º nível, o que resulta portanto num total de 4 cenários finais (Quadro 9).

Quadro 9 - Cenários finais de avaliação

Cenários	Cenários Combinados <sup>1</sup>	Pesos (WLC)	Tipo de avaliação
Fi	Ai-n	0.33	Combinação de cenários de risco neutro e máximo <i>trade-off</i>
	Bi-n	0.33	
	Ci-n	0.33	
Fii	Aiii-n	0.33	Combinação de cenários: A - risco máximo, sem <i>trade-off</i> ; B - risco neutro, máximo <i>trade-off</i> ; C - risco mínimo, sem <i>trade-off</i>
	Bi-n	0.33	
	Cii-n	0.33	
Fiii	Ai-n	0.50	Combinação de cenários de risco neutro e máximo <i>trade-off</i>
	Bi-n	0.35	
	Ci-n	0.15	

Fiv	Aiii-n	0.50	Combinação de cenários: A - risco máximo, sem <i>trade-off</i> ; B - risco neutro, máximo <i>trade-off</i> ; C - risco mínimo, sem <i>trade-off</i>
	Bi-n	0.35	
	Cii-n	0.15	

<sup>1</sup> O sufixo -n indica que a imagem foi normalizada para a escala 0-255.

As imagens resultantes dos cenários finais, isto é, Fi, Fii, Fiii e Fiv, são apresentadas na Figura 8 e os respectivos histogramas na Figura 9.

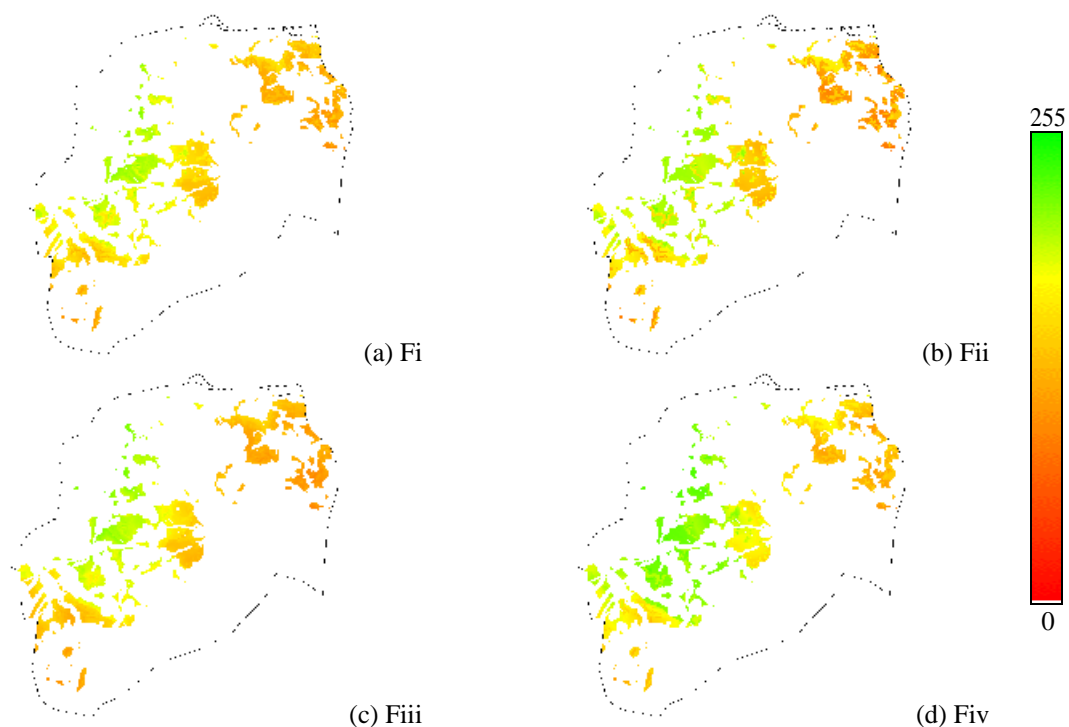


Fig. 8 - Imagens dos cenários Fi, Fii, Fiii e Fiv

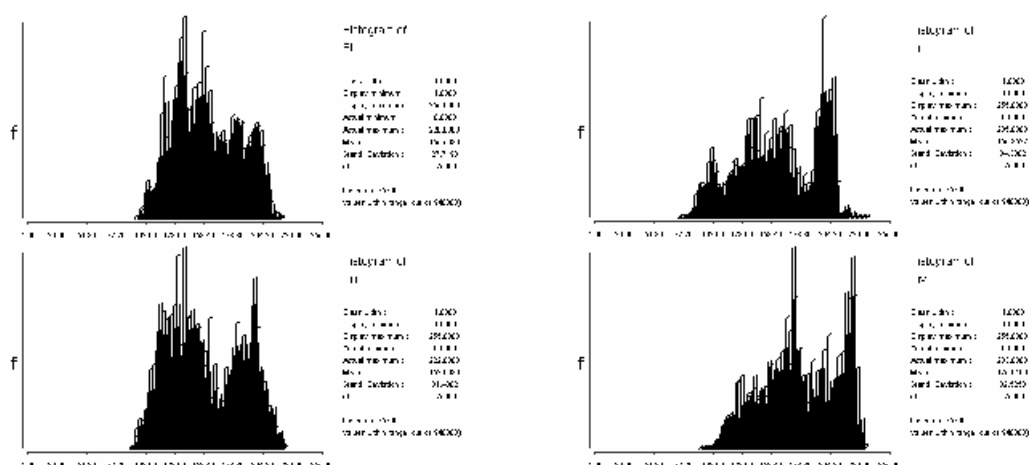


Fig. 9 - Histogramas de frequências dos cenários finais

## 5.5 Discussão dos Resultados

A discussão dos resultados da aplicação do modelo de localização industrial ao caso de estudo far-se-á por nível de agregação de critérios.



### 5.5.1 Combinação de critérios do 3º nível

O resultado da combinação de critérios do 3º nível são as imagens do 2º nível A1 a A5 e B1 a B3 (Figura 6). Para além destas, comentam-se ainda as imagens C1 a C3 (Figuras 6) que, embora não tenham resultado de processos de agregação (cf. Quadro 4), correspondem ao 2º nível.

Os comentários têm por referência as Figuras das imagens e o Quadro 10, onde se apresentam as estatísticas relativas aos histogramas de frequência dos valores dos pixels das imagens respectivas (scores).

Quadro 10 - Estatísticas dos histogramas das imagens do 2º nível

Imagem	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	% valores zero
A1	19	236	154.1	50.0	0.0%
A2	43	234	122.9	70.5	0.0%
A3	34	255	62.0	40.4	0.0%
A4	0	255	111.5	92.9	17.3%
A5	0	246	57.1	62.8	1.3%
B1	0	196	108.4	48.6	0.0%
B2	0	0	0	0	100.0%
B3	121	205	179.3	18.2	0.0%
C1	0	255	43.7	75.7	74.6%
C2	0	255	141.6	76.3	13.2%
C3	0	255	88.8	94.1	45.1%

A imagem A1 representa os scores da acessibilidade, sendo visíveis manchas que resultam de uma estrutura em anel centrada na parte noroeste do concelho (de maior acessibilidade, onde se situa a sede) e que é afectada essencialmente pelos seguintes factores de deformação: (i) a presença dum segundo nó de autoestrada, a Sul, que prolonga os anéis nessa direcção; (ii) a presença duma zona acidentada que penetra na área do concelho a partir de Este e na direcção Noroeste, “esmagando” os anéis de acessibilidade nessa direcção (mancha vermelha); (iii) a presença duma rede viária relativamente densa na parte Oeste do concelho, a qual gera a malha difusa que se pode visualizar a verde. Os scores iniciam-se em 19 e atingem um valor máximo de 236 (em 255 possíveis), com uma média de 154.1 e um desvio padrão relativamente baixo (50.0).

A imagem A2 representa os scores relativos à mão-de-obra, sendo visível uma concentração de mais elevados scores ao longo dum eixo Norte-Sul, com maior incidência nos extremos, particularmente a Norte-Noroeste, onde se situa a sede do concelho. Os scores assumem valores que vão de 43 a 234, com uma média de 122.9 e um desvio padrão não muito elevado (70.5).

A imagem A3, relativa à inércia industrial, revela um pólo de elevados scores na parte Oeste do concelho, onde se situam as poucas indústrias existentes. Praticamente todo o concelho está representado a vermelho (baixos scores), facto que se deve ao valor muito baixo ( $d_{\max}=3.21$  km) do segundo ponto de controlo da curva *fuzzy* associada ao factor A31 (proximidade a aglomerados industriais). Os scores começam em 34 e vão até ao máximo de 255, correspondendo-lhes uma média baixa (62.0), que não surpreende, e um desvio padrão de 40.4.

A imagem A4 representa os scores relativos à proximidade a infraestruturas básicas. Podem visualizar-se múltiplas manchas em anel, as quais se desenvolvem em torno de aglomerados urbanos, já que é nestes que se situam as infraestruturas. A gradação de cores dos anéis (verde-amarelo-vermelho-branco) deve-se ao efeito combinado da normalização dos

factores através das diversas curvas *fuzzy*; como os segundos pontos de controlo das curvas apresentam valores baixos (cf. Quadro 1), verifica-se a presença duma área branca assinalável (17.3%), a que correspondem scores nulos (ou seja, áreas que a respeito deste conjunto de critérios - infraestruturas - têm aptidão nula). Os scores vão de 0 a 255, com uma média de 111.5 e um desvio padrão da mesma ordem de grandeza da média (92.9), valor ao qual não é alheia a presença da área de scores nulos.

A imagem A5 representa os scores relativos à proximidade a equipamentos terciários, sendo evidente a concentração na sede do concelho, reveladora duma estrutura macrocéfala. Os scores variam entre 0 e 246, apresentando uma média de 57.1 e um elevado desvio padrão (62.8).

A imagem B1 refere-se às preferências pessoais dos empresários, designadamente a proximidade a áreas urbanas de qualidade e a locais de recreio. É evidente a concentração em torno da parte Noroeste, a qual contém o ponto de melhor acessibilidade ao exterior do concelho. Os scores variam entre 0 e 196, com uma média de 108.4 e um desvio padrão relativamente baixo (48.6).

A imagem B2 refere-se à proximidade a centros de investigação e ensino superior. Pode observar-se que a imagem é totalmente branca (scores nulos), o que se deve ao facto das instituições mais próximas (Universidade do Minho, em Braga, e Instituto Politécnico de Viana do Castelo) se localizarem a distâncias superiores às das distâncias máximas das respectivas curvas *fuzzy* de normalização.

A imagem B3 representa os scores relativos à proximidade a centros de decisão municipal e central, podendo observar-se uma mancha de valores mais altos em torno da vila de Valença e o restante município com valores mais moderados, devido essencialmente à influência da cidade do Porto. Os scores variam entre 121 e 205, com uma média de 179.3 e um desvio padrão muito baixo (18.2), que se compagina com a homogeneidade da imagem.

A imagem C1 refere-se aos scores decorrentes do uso do solo de acordo com o PDM. Como se trata duma reclassificação onde diversas classes de uso foram consideradas não adequadas, a imagem apresenta uma área de score nulo (branca) que atinge os 74.6% da área total. Como resultado, os scores, que se expressam entre 0 e 255, apresentam um valor médio muito baixo (43.7) e um desvio padrão muito elevado (75.5).

A imagem C2 refere-se aos scores relativos à visibilidade a partir de áreas urbanas. Dado existirem muitos aglomerados urbanos distribuídos de forma difusa (excepto na área mais declivosa) e, por outro lado, o relevo do território não ser muito complexo, verifica-se a presença duma extensa área visível (a amarelo) e duma área invisível muito menor (a verde, por ter score mais elevado), esta situada essencialmente na parte montanhosa do concelho. As áreas a branco são os “pontos de vista”, isto é, os aglomerados urbanos. Convém referir que a área invisível encontrada resulta da adopção dum raio de pesquisa de 1000 metros, o que significa que para lá dessa distância se considera que o impacto visual não é assinalável. Os scores variam entre 0 e 255, com uma média de 141.6 e um desvio padrão de 76.3.

A imagem C3 representa os scores relativos ao declive do terreno, podendo observar-se a mancha verde da faixa Norte e Oeste (menores declividades, maiores scores), que se contrapõe à grande área branca (elevados declives, scores nulos) da parte Este-Sul, ambas entremeadas por áreas de scores intermédios (amarelas). O elevado pormenor da imagem deve-se à grande resolução e qualidade do modelo digital do terreno desenvolvido. Os scores variam entre 0 e 255, com média de 88.8 e um elevado desvio padrão (94.1).

#### 5.5.2. Combinação de critérios do 2º nível

O resultado da combinação de imagens do 2º nível são as imagens A, B e C, para cada uma das quais foram definidos seis cenários de avaliação (cf. Quadros 6, 7 e 8).

Os comentários sobre os cenários têm por referência as imagens correspondentes (Figura 7) e o Quadro 11, onde se apresentam as estatísticas relativas às imagens dos cenários. Pode observar-se no Quadro 11 que os cenários de risco mínimo, sem *trade-off*, (Aii ou Bii ou Cii) e de risco máximo, sem *trade-off*, (Aiii ou Biii ou Ciii) limitam inferior e superiormente o espaço de solução, quer se considere os valores mínimo, máximo ou médio. Tal é visível nas imagens, com os cenários de baixo risco (Aii, Bii, Cii e, com menor incidência, Aiv, Biv, Civ) a apresentarem uma predominância de tonalidades vermelhas (scores baixos), ou zonas brancas (score nulo) enquanto os cenários de elevado risco (Aiii, Biii, Ciii e, com menor incidência, Av, Bv, Cv) apresentam uma predominância de tonalidades verdes (scores altos).

Os cenários de risco neutro (Ai e Avi, Bi e Bvi, Ci e Cvi) permitem que scores baixos sejam compensados por scores altos e resultam em valores finais de score que se colocam, em média, em zonas intermédias da escala. É importante referir que não se assiste apenas a variações em valor dos scores, resultantes do ponto de decisão escolhido - risco e *trade-off* - mas também a variações espaciais das superfícies de score no território, o que significa que a adopção de determinado cenário de avaliação em determinado momento, por razões que não cabe aqui discutir, corresponde à assunção de uma atitude de decisão que tem reflexos no território. Esta questão é bem evidente quando se compara, por exemplo, a imagem do cenário Aii (risco mínimo, sem *trade-off* - do grupo de critérios associados à actividade industrial) com a imagem da cenário Ai (risco neutro, máximo *trade-off* - do mesmo grupo de critérios); na primeira a área de máximo score localiza-se a Oeste, próximo do nó sul da autoestrada e das indústrias existentes, enquanto na segunda a melhor zona se situa mais próxima da sede do concelho, a Noroeste; na primeira existe uma área apreciável de aptidão nula, do ponto de vista deste grupo de critérios, enquanto na segunda, por via do *trade-off*, todas as áreas têm alguma aptidão, ainda que possa ser baixa, sendo que as áreas de score zero no primeiro cenário não são necessariamente as de mais baixo score no segundo cenário.

Quadro 11 - Estatísticas dos histogramas dos cenários do 1º nível

Cenários	Mínimo	Máximo	Média	D.Padrão	% valores zero	Tipo de avaliação
Ai	4	47	22.3	9.6	0.0%	Risco neutro Máximo <i>trade-off</i>
Aii	0	15	2.5	2.3	23.2%	Risco mínimo Sem <i>trade-off</i>
Aiii	13	69	48.6	15.2	0.0%	Risco máximo Sem <i>trade-off</i>
Aiv	1	25	9.5	5.3	0.0%	Baixo risco <i>trade-off</i> parcial
Av	9	62	37.5	13.1	0.0%	Alto risco <i>trade-off</i> parcial
Avi	1	53	19.9	11.3	0.0%	Risco neutro <i>trade-off</i> parcial
Bi	16	44	32.9	6.3	0.0%	Risco neutro Máximo <i>trade-off</i>
Bii	0	0	0.0	0.0	100.0%	Risco mínimo Sem <i>trade-off</i>
Biii	48	82	71.7	7.3	0.0%	Risco máximo Sem <i>trade-off</i>
Biv	2	19	11.7	4.0	0.0%	Baixo risco <i>trade-off</i> parcial
Bv	31	68	54.7	8.2	0.0%	Alto risco <i>trade-off</i> parcial
Bvi	7	47	29.6	9.5	0.0%	Risco neutro <i>trade-off</i> parcial
Ci	0	83	30.4	14.9	2.6%	Risco neutro Máximo <i>trade-off</i>
Cii	0	80	6.6	15.5	83.2%	Risco mínimo Sem <i>trade-off</i>

Ciii	0	85	61.4	19.8	2.5%	Risco máximo Sem <i>trade-off</i>
Civ	0	82	14.3	15.6	2.9%	Baixo risco <i>trade-off</i> parcial
Cv	0	85	47.3	16.7	2.5%	Alto risco <i>trade-off</i> parcial
Cvi	0	84	26.7	19.6	2.7%	Risco neutro <i>trade-off</i> parcial

Raciocínio semelhante pode ser feito quando se comparam outros cenários. Um caso curioso é o cenário Bii, onde toda a área de estudo apresenta score nulo. Acontece que um dos factores combinados (B2) continha apenas zeros na sua imagem, o que resultou numa imagem final branca, já que o cenário Bii, por ser de risco mínimo e sem *trade-off*, tomou apenas os valores mais baixos dos factores combinados e não permitiu qualquer compensação. Em termos práticos isto significa que, para este ponto de decisão, bastou que apenas um factor não fosse satisfatório para que toda a solução fosse considerada insatisfatória, o que configura uma atitude conservativa de total ausência de risco (isto é, o equivalente ao operador lógico AND).

No que se reporta ao Quadro 11 é ainda interessante analisar uma particularidade. Trata-se da elevada percentagem de pixeis com valor zero nos cenários de risco mínimo, precisamente aqueles que tomam os menores dos scores dos factores combinados, os quais muitas vezes são valores nulos. Isto é patente na imagem do cenário Aii (23.2% da área branca), do cenário Bii (100% de área branca) e no cenário Cii (83.2% de área branca).

Importa, finalmente, clarificar um outro aspecto que resulta da acumulação de operadores matemáticos sobre os valores dos scores. A representação das imagens implica a utilização de paletas de 256 cores, pelo que os valores dos scores são arredondados para o inteiro mais próximo, o qual corresponderá então a uma cor da paleta. Isto significa que, como se referiu atrás, se optou por uma escala normalizada que varia de 0 a 255 e que assume valores inteiros. Ora no âmbito da combinação de factores, utilizando o procedimento OWA, os scores vêm multiplicados por dois pesos (os dos critérios e os *order weights*), o que significa que os scores finais resultantes vêm expressos numa gama de valores mais baixos. Resulta, por exemplo, que muitos scores que nas imagens iniciais tinham valores baixos, passam, por via dos pesos, a valores muito pequenos, os quais por sua vez vêm arredondados para zero. Este fenómeno é visível na imagem Aii, a qual contém 23.2% de pixeis com score nulo; se se analizarem as percentagens de scores nulos nas imagens que contribuem para este cenário, verifica-se que A4 apresenta 17.3% e A5 apresenta 1.3%, donde o resultado da sua combinação, sem o efeito descrito, não poderia jamais ser de 23.2%.

### 5.5.3 Combinação de critérios do 1º nível

A combinação de imagens do 1º nível, onde se incluem já as exclusões CE, resulta nos quatro cenários finais Fi, Fii, Fiii e Fiv (cf. Quadro 9)

Os comentários sobre os cenários finais têm por referência as imagens correspondentes (Figura 8) e os respectivos histogramas (Figura 9).

O cenário Fi combina linearmente (WLC) os cenários do primeiro nível de risco neutro e máximo *trade-off* (Ai-n, Bi-n e Ci-n), atribuindo-lhes igual peso. Trata-se portanto do cenário médio a todos os títulos. Por sua vez, o cenário Fiii resulta da mesma combinação mas atribuindo maior peso aos critérios associados à actividade industrial (0.50) e muito menor peso aos critérios associados ao ordenamento do território (0.15). A comparação entre as respectivas imagens mostra uma distribuição de scores relativamente semelhante, com as áreas de maior aptidão a localizarem-se na zona centro-Oeste do concelho. Não obstante esta similaridade, verifica-se no cenário Fiii um reforço da aptidão das zonas mais próximas da

sede do concelho, resultado do maior peso dado ao cenário Ai-n e da retirada de peso ao cenário Ci-n.

O cenário Fii combina linearmente (WLC) os cenários do primeiro nível Aiii-n (critérios associados à actividade industrial - risco máximo, sem *trade-off*), Bi-n (critérios associados a opções administrativas e sócio-económicas - risco neutro, máximo *trade-off*) e Cii-n (critérios associados ao ordenamento do território - risco mínimo, sem *trade-off*), atribuindo-lhes igual peso. Por sua vez, o cenário Fiv resulta da mesma combinação mas atribuindo maior peso aos critérios associados à actividade industrial (0.50) e muito menor peso aos critérios associados ao ordenamento do território (0.15). A comparação entre as respectivas imagens mostra uma distribuição de scores diversa, com o cenário Fii a apresentar valores em média mais baixos e a concentrar as áreas de maior aptidão numa zona restrita do centro-Oeste do concelho, enquanto no cenário Fiv as áreas de maior aptidão são mais vastas e estendem-se por toda uma faixa ao longo da parte Oeste do concelho, com excepção da ponta Sudoeste. Neste caso faz-se sentir claramente a influência do cenário Aiii-n (que, sendo optimista, distribui scores mais elevados por áreas mais vastas), particularmente quando, no cenário Fiv, o seu peso é reforçado em desfavor do cenário Cii-n (que, por seu lado, é pessimista, logo de baixo score).

A comparação entre os quatro cenários finais pode ser feita observando os histogramas da Figura 9. Verifica-se que os cenários Fi e Fiii têm histogramas mais estreitos e, no caso do Fiii, mais chegado à esquerda, isto é, com scores mais baixos. Os cenários Fii e Fiv são mais largos e apresentam elevadas frequências em valores de score mais altos. Em termos de distribuição geográfica das áreas mais aptas para a localização de indústrias, os cenários Fii e Fiv oferecem mais alternativas já que cobrem uma área mais vasta, com scores mais elevados quando comparados com as áreas oferecidas como boas pelos cenários Fi e Fiii.

## 6. CONCLUSÕES

Do ponto de vista instrumental, o modelo utilizado afigura-se interessante pelo facto de emular de forma transparente e bem estruturada um processo de decisão. Para além desta característica de base, o seu maior potencial reside na possibilidade de, através do operador de agregação OWA (*Ordered Weighted Average*), desenvolver cenários de avaliação baseados na atitude de risco (*ANDness*) e compensação entre critérios (*trade-off*), obtendo assim em formato geográfico um espectro estratégico de decisão.

Na base do modelo está o conjunto de critérios e respectivas ponderações (pesos), obtidos a partir da auscultação do painel de empresários. Importa desde já limitar a validade do modelo por via da constituição do painel, quer em termos da tipologia de indústrias transformadoras, quer em termos da dimensão das empresas.

A exploração do modelo pode assumir formatos de utilização prática como: (i) A identificação das áreas de maior aptidão perfazendo uma área pré-determinada com vista a satisfazer necessidades de espaço para a actividade industrial; (ii) A avaliação ou reavaliação de áreas já destinadas ou ocupadas por uso industrial, no âmbito, por exemplo, de programas de deslocalização.

Pelo Caso de Estudo apresentado a aplicabilidade do modelo ficou amplamente demonstrada, quer na perspectiva da sua operacionalidade quer na perspectiva da sua utilidade.

No mais baixo nível de análise, a agregação de critérios permite uma excelente leitura do território de estudo, útil também em contextos diversos daquele que é objecto do presente modelo. A complexidade envolvida na criação, por exemplo, dum mapa de acessibilidade do município (Figura 6-a) ou dum mapa de proximidade a infraestruturas (Figura 6-d) é

eficientemente tratada e sintetizada fazendo uso das ferramentas de análise espacial e das técnicas multicritério, resultando em imagens sectoriais do território.

No nível intermédio de análise (cf. Quadro 4) obtiveram-se 6 cenários de avaliação para cada um dos três grandes grupos de critérios considerados.

Os diferentes cenários, que definem um espaço estratégico de decisão cobrindo seis combinações de risco/*trade-off*, deram origem a um conjunto de imagens (Figura 7) cuja sequência permite visualizar o comportamento espacial da aptidão. Aos cenários de baixo risco/baixo *trade-off* correspondem grandes áreas de aptidão nula, enquanto nos cenários de alto risco/baixo *trade-off* as manchas amarelas/verdes de mais alto score avançam sobre as áreas brancas dos primeiros, oferecendo mais alternativas de localização. Nos cenários de maior *trade-off* e risco a variar entre os extremos e o ponto de risco neutro, verifica-se o deslocamento das manchas de potencial localização de Oeste para Este, como que "libertando-se" dos vínculos de máxima aptidão (a Oeste) constituídos pelos nós da autoestrada, pelos aglomerados urbanos e pela densidade de rede viária, e "invadindo" as áreas mais remotas e mais montanhosas.

Alguns dos cenários resultantes da agregação de critérios do segundo nível foram combinados para gerar os quatro cenários de avaliação finais (Figura 8), os quais foram então utilizados na identificação das áreas de maior aptidão do Concelho.

Se bem que se considere que os objectivos de formulação, implementação e aplicação do modelo de localização tenham sido integralmente conseguidos, há que prosseguir o esforço de "calibração", alargando a dimensão e a origem geográfica dos painéis de empresários, por forma a consolidar continuamente o elenco de critérios, as respectivas ponderações, e a calibração das funções de normalização. Este aspecto, sem interferir directamente na formulação conceptual do modelo, revela-se de grande interesse já que contribuirá, por um lado, para uma maior aplicabilidade do modelo e, por outro lado, para a monitorização da importância dos critérios de localização ao longo do tempo. No limite, a existência de painéis sectoriais, representativos de diferentes sectores da indústria transformadora, poderia dar origem a modelos de localização sectoriais de interesse no quadro do apoio à decisão de empresas individuais.

## REFERÊNCIAS

- Carver, S. J. (1991), Integrating Multi-Criteria Evaluation with Geographical Information Systems. *International Journal of Geographic Information Systems*, Vol.5(3), pp.321-339.
- Eastman, J. R. (1997), *IDRISI for Windows: User's Guide. Version 2.0*. Worcester: Clark University-Graduate School of Geography.
- Eastman, J. R.; Jiang, H. (1996), Fuzzy Measures in Multi-Criteria Evaluation. Proceedings, Second International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Studies, May 21-23, Fort Collins, Colorado, pp.527-534.
- Eastman, J. R.; Jiang, H.; Toledano, J. (1998), Multi-Criteria and Multi-Objective decision Making for Land Allocation Using GIS. In Beinat, E. ; Nijkamp, P. (Eds), *Multicriteria Analysis for Land-Use Management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 227-251.
- Eastman, J. R.; Jin, W.; Kyem, P. A. K.; Toledano, J. (1993), GIS and Decision Making, Explorations. In *Geographic Information System Technology*, Vol. 4. Geneve: UNITAR - The United Nations Institute for Training and Research.

- Eastman, J. R.; Jin, W.; Kyem, P. A. K.; Toledano, J. (1994), Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.61(5), pp.539-547.
- Honea, R.B.; Hake, R.C.; Durfee, R.C. (1991), Incorporating GIS into Decision Support Systems: Where Have We Come From and Where Do We Need To Go. In Heit, M.; Shortreid, A. (Eds) *GIS Applications in Natural Resources*. Fort Collins: GIS World Inc.
- Janssen, R.; Rietveld, P. (1990), Multicriteria Analysis and GIS: An Application to Agricultural Landuse in the Netherlands. In Scholten, H.J.; Stillwell, J.C.H. (Eds), *Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp.129-139.
- Malczewski, J. (1999), *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Mendes, J.F.G. (2000) Decision Strategy Spectrum for the Evaluation of Quality of Life in Cities. In Foo Tuan Seik, Lim Lan Yuan and Grace Wong Khei Mie (eds.), *Planning for a Better Quality of Life in Cities*, 35-53, School of Building and Real Estate, NUS, Singapore.
- Mendes, J.F.G.; Rametta, F.; Giordano, S.; Torres, L. (1999) A GIS Atlas of Environmental Quality in Major Portuguese Cities. In Paola Rizzi (ed.), *Computers in Urban Planning and Urban Management on the Edge of the Millenium*, FrancoAngeli, Venice.
- Ramos, Rui A. R. (2000), *Localização Industrial: Um Modelo para o Noroeste de Portugal*. Tese de Doutoramento. Braga: Universidade do Minho.
- Saaty, T. (1977) A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15, pp. 234-281.
- Voogd, H. (1983) - *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. London: Pion Ltd.
- Winterfeldt, D. Von; Edwards, W. (1986), *Decision Analysis and Behavioural Research*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Witlox, F.; Timmermans, H. (1999), Matisse: a knowledge-based system for industrial site selection and evaluation. In Paola Rizzi (Ed.), *Computers in Urban Planning and Urban Management on the Edge of the Millenium*. Venice: FrancoAngeli.
- Yager, R.R. (1988), On Ordered Weighted Averaging aggregation operators in multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol.8(1), pp.183-190.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, Vol.8, pp.338-353.